

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

cited in the European Search
Report of EP04 74 712.0
Your Ref.: F-P08854/KA(EP)

PUBLICATION NUMBER : 11186574
PUBLICATION DATE : 09-07-99

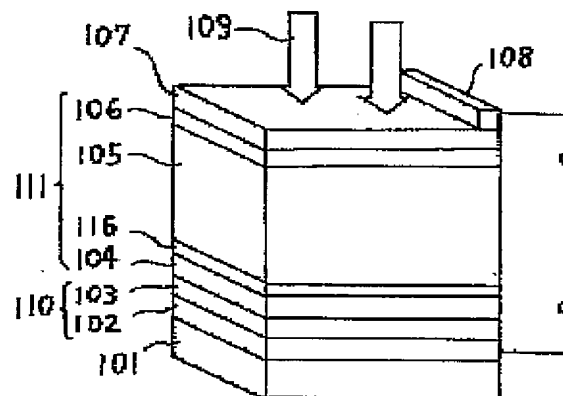
APPLICATION DATE : 24-12-97
APPLICATION NUMBER : 09355155

APPLICANT : KANEGAFUCHI CHEM IND CO LTD;

INVENTOR : YOSHIMI MASASHI;

INT.CL. : H01L 31/04

TITLE : SILICON-BASED THIN-FILM
PHOTOELECTRIC CONVERTER



ABSTRACT : **PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a silicon thin-film photoelectric converter which can be improved in its photoelectric conversion characteristics by reducing crystal grains and within-grain defects in a crystalline silicon thin-film photoelectric conversion layer, formed with the use of a low-temperature process of a plasma CVD method.

SOLUTION: This silicon-based thin-film photoelectric converter includes at least one photoelectric conversion unit 111 formed on a substrate 101. The unit 111 includes a crystalline silicon semiconductor layer 104 of a first conductivity type, a silicon thin film photoelectric conversion layer 105 containing a crystalline material, and a silicon semiconductor layer 106 of a second conductivity type to this conductivity type, all sequentially formed as being laminated by a plasma CVD method. The unit 111 formed includes a silicon oxide thin film 116, which is provided between the semiconductor layer 104 and the photoelectric conversion layer 105 which make contact directly with the conversion layer 105.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-186574

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月9日

(51) Int.Cl.⁸

H 0 1 L 31/04

識別記号

F I

H 0 1 L 31/04

B

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号

特願平9-355155

(22) 出願日

平成9年(1997)12月24日

(71) 出願人 000000941

鐘淵化学工業株式会社

大阪府大阪市北区中之島3丁目2番4号

(72) 発明者 岡本 圭史

神戸市垂水区塩屋6-31-17 三青荘

(72) 発明者 吉見 雅士

神戸市須磨区北落合1-1-324-403

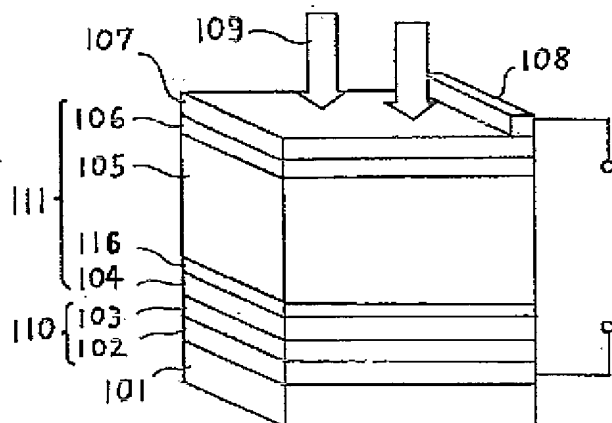
(74) 代理人 弁理士 深見 久郎 (外2名)

(54) 【発明の名称】 シリコン系薄膜光電変換装置

(57) 【要約】

【課題】 プラズマCVD法による低温プロセスを用いて形成される結晶質シリコン系薄膜光電変換層における結晶粒界や粒内欠陥を低減し、それによって光電変換特性が改善されたシリコン系薄膜光電変換装置を提供する。

【解決手段】 シリコン系薄膜光電変換装置は、基板(101)上に形成された少なくとも1つの光電変換ユニット(111)を含み、その光電変換ユニット(111)は、プラズマCVD法によって順次積層された1導電型微結晶シリコン系半導体層(104)と、結晶質を含むシリコン系薄膜光電変換層(105)と、逆導電型シリコン系半導体層(106)とを含み、1導電型微結晶半導体層(104)と結晶質光電変換層(105)との間にはシリコン系酸化薄膜(116)をさらに含みかつこのシリコン系酸化薄膜(116)が結晶質光電変換層(105)と直接接していることを特徴としている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に形成された少なくとも1つの光電変換ユニットを含み、

前記光電変換ユニットは、プラズマCVD法によって順次積層された1導電型シリコン系半導体層と、結晶質を含むシリコン系薄膜光電変換層と、逆導電型シリコン系半導体層とを含み、

前記1導電型半導体層と前記光電変換層との間にはシリコン系酸化薄膜をさらに含みかつこのシリコン系酸化薄膜が前記光電変換層と直接接していることを特徴とするシリコン系薄膜光電変換装置。

【請求項2】 前記シリコン系酸化薄膜の厚さが0.5～50nmの範囲内にあることを特徴とする請求項1に記載のシリコン系薄膜光電変換装置。

【請求項3】 前記光電変換層は400℃以下の下地温度のもとで形成されたものであり、80%以上の体積結晶化分率と、0.1～30原子%の範囲内の水素含有量と、0.5～20μmの範囲内の厚さとを有していることを特徴とする請求項1または2に記載のシリコン系薄膜光電変換装置。

【請求項4】 前記光電変換層はその膜面に平行に(110)の優先結晶配向面を有し、そのX線回折における(220)回折ピークに対する(111)回折ピークの強度比が1/5以下であることを特徴とする請求項1から3のいずれかの項に記載のシリコン系薄膜光電変換装置。

【請求項5】 前記シリコン系薄膜光電変換装置は前記基板上で前記光電変換ユニットと少なくとも1つの非晶質シリコン系光電変換ユニットを含むタンデム型であることを特徴とする請求項1から4のいずれかの項に記載のシリコン系薄膜光電変換装置。

【請求項6】 前記シリコン系酸化薄膜は前記1導電型半導体層の表面を酸素含有気体に接触させることによって形成されたものであることを特徴とする請求項1から5のいずれかの項に記載のシリコン系薄膜光電変換装置。

【請求項7】 前記シリコン系酸化薄膜は、二酸化炭素と水蒸気の少なくとも一方を含む気体を用いたプラズマCVD法によって前記1導電型半導体層の表面を酸化することによって形成されたものであることを特徴とする請求項1から5のいずれかの項に記載のシリコン系薄膜光電変換装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は薄膜光電変換装置に関し、特に、シリコン系薄膜光電変換装置の性能改善に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、たとえば多結晶シリコンや微結晶シリコンのような結晶質シリコンを含む薄膜を利用した

光電変換装置の開発が精力的に行なわれている。これらの開発は、安価な基板上に低温プロセスで良質の結晶質シリコン薄膜を形成することによって光電変換装置の低コスト化と高性能化を両立させようという試みであり、太陽電池だけでなく光センサ等の様々な光電変換装置への応用が期待されている。

【0003】このような良質の結晶質シリコン薄膜を形成する方法としては、基板上に大結晶粒径のシリコン薄膜の下地層を何らかのプロセスで形成した後に、この下地層をシード層または結晶化制御層として用いることによって、結晶粒界や粒内欠陥が少なくて一方向に強く結晶配向した良質の光電変換層となる結晶質シリコン薄膜をその下地層上に堆積させるという手法が知られている。より具体的には、基板上に堆積されたシリコン膜をゾーンメルト法によって大結晶粒径化したものを下地層に用いる方法がSolar Energy Materials and Solar Cells, Vol.34, 1994, p.285に記載されており、また、基板上に堆積されたシリコン膜を固相成長法によって大結晶粒径化したものを下地層に用いる方法がSolar Energy Materials and Solar Cells, Vol.34, 1994, p.257に記載されている。しかし、これらのいずれにおいても、下地層または光電変換層の形成に500℃以上の比較的に高温のプロセスを含んでいることから、用いられ得る基板の種類に制約がある。

【0004】また、結晶質シリコン系光電変換層の下地層として非晶質シリコン系薄膜を用いた光電変換装置が、特開平7-263732に記載されている。この非晶質シリコン系薄膜は基板材料と結晶質シリコン系薄膜との熱膨張係数の相違による歪を緩和させることを目的としているが、この技術も500℃以上の高温のプロセスにおける熱応力に対処するために必要とされるものであり、また、このような形成方法によって高い光電変換特性が得られたという事例は未だ存在していない。

【0005】他方、安価な低融点ガラスの基板を用いることができかつ熱膨張係数の差異に基づく積層膜内の応力や歪が生じにくい比較的低温のプロセスのみを用いる方法であって、優れた光電変換効率の結晶質シリコン系薄膜光電変換装置を形成し得る方法が近年脚光を浴びている。たとえば、微結晶シリコンのp-i-n接合からなる光電変換ユニットを含む光電変換装置がAppl. Phys. Lett., Vol.65, 1994, p.860に記載されている。この光電変換ユニットは、簡便にプラズマCVD法で順次積層されたp型半導体層、光電変換層たるi型半導体層およびn型半導体層からなり、これらの半導体層のすべてが微結晶シリコンであることを特徴としている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】光電変換ユニットを構成するシリコン系薄膜のすべてを低温プロセスのみで形成しようとする場合、光電変換層のための下地層として、シード層となり得る大結晶結晶質シリコン薄膜を形

成することは非常に困難である。しかしながら、上述の先行技術中で、微結晶シリコンのpin接合をプラズマCVD法にて低温で形成する光電変換ユニットでは、導電型微結晶シリコンが光電変換層の下地層となっているものの、これは単に光電変換層との材料的類似性を考慮したものであって、光電変換層の結晶性を積極的に制御しようとするためのものではない。また、この下地層の導電型微結晶シリコン膜は小粒径の結晶シリコンが多数存在する膜であるので、この上に形成される結晶質シリコン系光電変換層はその成長初期過程で多数の結晶核を生じ、結果として光電変換特性に悪影響を及ぼす結晶粒界や粒内欠陥の多い膜になりやすいという問題がある。

【0007】本発明の目的は、上述のような先行技術の課題に鑑み、安価な基板が使用可能な低温プロセスのみを用いて形成されるシリコン系光電変換装置において、結晶質シリコン系薄膜光電変換層中の結晶粒界や粒内欠陥を低減させて光電変換特性を改善することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明によるシリコン系薄膜光電変換装置は、基板上に形成された少なくとも1つの光電変換ユニットを含み、その光電変換ユニットは、プラズマCVD法によって順次積層された1導電型半導体層と、結晶質を含むシリコン系薄膜の光電変換層と、逆導電型半導体層とを含み、1導電型半導体層と光電変換層との間にはシリコン系酸化薄膜をさらに含みかつこのシリコン系酸化薄膜が光電変換層と直接接していることを特徴としている。

【0009】すなわち、本発明者らは、上述の先行技術における課題を解決すべく検討を重ねた結果、光電変換ユニットに含まれる半導体層のすべてをプラズマCVD法にて低温で形成するシリコン系薄膜光電変換装置の場合に、光電変換層の下地となる導電型層とその光電変換層との界面にごく薄いシリコン系酸化薄膜を導入することにより、結晶質シリコン系光電変換層の結晶核発生の要因となる小粒径の結晶シリコンの密度を適度に抑制し、すなわち光電変換層の成長初期過程における結晶核発生密度を適度に抑制することにより、結晶粒界や粒内欠陥が少なくかつ一方に強く結晶配向した良質の光電変換層が得られることを見出したのである。

【0010】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の第1の実施の形態によるシリコン系薄膜光電変換装置を模式的な斜視図で図解している。この装置の基板101には、ステンレス等の金属、ポリイミド等の低膨張率を有する有機フィルム、または低融点の安価なガラス等が用いられ得る。

【0011】基板101上の電極110は、下記の薄膜(A)と(B)のうちの1以上を含み、たとえば蒸着法やスパッタ法によって形成され得る。なお、図1において光109は上方から入射されるように描かれているが、これは下方から入射されるようにされてもよいこと

は言うまでもなく、その場合には、電極110は金属薄膜を含まない。

(A) Ti、Cr、Al、Ag、Au、CuおよびPtから選択された少なくとも1以上の金属またはこれらの合金からなる金属薄膜。

(B) ITO、SnO₂ およびZnOから選択された少なくとも1以上の酸化物からなる透明導電性薄膜。

【0012】電極110上には光電変換ユニット111のうちの1導電型半導体層104がプラズマCVD法にて堆積される。この1導電型半導体層104としては、たとえば導電型決定不純物原子であるリンが0.01原子%以上ドーピングされたn型微結晶シリコン層、またはボロンが0.01原子%以上ドーピングされたp型微結晶シリコン層などが用いられ得る。しかし、1導電型半導体層104に関するこれらの条件は限定的なものではなく、不純物原子としてはたとえばp型微結晶シリコンにおいてはアルミニウム等でもよく、また微結晶シリコンカーバイドや微結晶シリコンゲルマニウム等の合金材料の層を用いてもよい。導電型微結晶シリコン系薄膜104の厚さは3~100nmの範囲内に設定され、より好ましくは5~50nmの範囲内に設定される。

【0013】1導電型微結晶層104上には、本発明の最も重要な特徴であるところのシリコン系酸化薄膜116が形成される。このシリコン系酸化薄膜116の厚さは、経験上から、0.5~50nmの範囲内にいることが好ましく、0.1~5nmの範囲内にいることがさらに好ましい。このようなシリコン系酸化薄膜116の形成方法としては、いくつかの方法が可能である。たとえば、1導電型微結晶層104の表面を酸素含有気体に曝露させて酸化する方法や、プラズマCVD法を用いて酸化させる方法が可能である。

【0014】1導電型微結晶層104の表面を酸素含有気体に曝露する場合、その酸素含有気体としては、酸素単独、窒素等の不活性ガスと酸素との混合気体、または乾燥空気などを用いることができる。酸素とシリコンの親和力は非常に強くかつ1導電型層104が少なくともシリコンを含んでいるので、これらの気体に1導電型層104の表面を数秒から数時間の範囲内で曝露することにより、1導電型層104の表面が酸化されてシリコン系酸化薄膜116が形成される。この適用し得る曝露時間の幅が広いのは、シリコン表面は酸素に触れれば瞬時に酸化されるが、その酸化膜は緻密であって内部への酸素の拡散を著しく制限するからである。したがって、この曝露時間はかなり長くてもよいが、あまりに長くすれば1導電型層104自体に欠陥を生じたりピンホールを生じる恐れがある。

【0015】また、酸素含有気体に曝露させるときの温度は通常簡便に得られる温度でよく、その温度が高すぎれば1導電型層104や裏面電極110が劣化することがある。したがって、具体的には曝露温度として液体窒

素温度から1導電型層104の形成温度までの範囲内であればよいが、0℃から1導電型微結晶層の形成温度までの範囲内にあることがより好ましい。より具体的には、曝露温度が室温の場合には、曝露時間は1秒から20時間の範囲内であることが好ましく、10秒から3時間の範囲内にあることがより好ましい。

【0016】他方、二酸化炭素、または窒素等の不活性ガスと二酸化炭素との混合気体を雰囲気として用いるプラズマCVD法によって1導電型層104の表面を酸化させる場合には、プラズマ曝露時間は数分以内でよい。すなわち、曝露時間は10秒から10分までの範囲内が好ましく、30秒から3分までの範囲内がより好ましい。プラズマCVD法を用いる場合にも、曝露温度は液体窒素温度から1導電型層104の形成温度までの範囲内であればよいが、0℃から1導電型層104の形成温度までの範囲内にあることがより好ましい。また、プラズマガス圧としては、0.1 Torrから1気圧までの範囲内で任意の圧力を用いることができるが、0.1～10 Torrの範囲内の圧力がより好ましい。

【0017】なお、乾燥空気やその他の酸素含有気体に1導電型層104の表面を曝露することによってシリコン系酸化薄膜116を形成する方法では、簡便な方法でコストが安いという利点が得られる。他方、プラズマCVD法を用いて1導電型層104の表面を酸化させる方法では、処理時間の管理が簡単であり、シリコン系酸化薄膜116の特性についてパッチ間のばらつきが小さいという利点が得られる。

【0018】シリコン系酸化薄膜116上には、光電変換層105として、結晶質を含むシリコン系薄膜がプラズマCVD法によって400℃以下の下地温度のもとで形成される。この光電変換層105としては、ノンドーブのi型多結晶シリコン薄膜や体積結晶化分率80%以上のi型微結晶シリコン薄膜、あるいは微量の不純物を含む弱p型または弱n型で光電変換機能を十分に備えている結晶質シリコン系薄膜が使用され得る。また、光電変換層105はこれらに限定されず、合金材料であるシリコンカーバイドやシリコンゲルマニウム等の膜を用いてもよい。

【0019】光電変換層105の膜厚は0.5～20μmの範囲内で、より好ましくは1～10μmの範囲内に設定され、結晶質を含むシリコン系薄膜光電変換層として必要かつ十分な厚さである。光電変換層105は400℃以下という低温で形成されるので、結晶粒界や粒内における欠陥を終端または不活性化させる水素原子を多く含み、その好ましい水素含有量は0.1～30原子%の範囲内であり、より好ましくは1～20原子%の範囲内にある。

【0020】シリコン系薄膜光電変換層105に含まれる結晶粒の多くは、下地層から上方に柱状に延びて成長している。それらの多くの結晶粒は膜面に平行に(11

0)の優先結晶配向面を有し、X線回折で求めた(220)回折ピークに対する(111)回折ピークの強度比は1/5以下であり、1/10以下であることがより好ましい。

【0021】光電変換層105を形成する前に本発明の重要な特徴であるところのシリコン系酸化薄膜116を形成した場合、その酸化薄膜116を形成しない場合に比べて、光電変換層105中における(110)面配向が顕著になり、結晶粒度も大きくなる。すなわち、光電変換層105からのX線回折において、(220)面反射ピークが高くかつその半値幅が狭くなる。

【0022】なお、上述のように1導電型層104の表面にシリコン系酸化薄膜116を形成してその上に光電変換層105を堆積させた場合にその光電変換層105の結晶構造が著しく改善されるが、現時点においてその理由は必ずしも明らかではない。また、シリコン系酸化膜は典型的な絶縁膜として知られているが、本発明者たちはこの酸化膜が本発明による光電変換装置内の電流を阻害しないことをも経験的に見出した。これは、酸化膜が極めて薄いために光電変換層105を堆積した後は酸化薄膜116が網目状の構造になっているために電流が流れ得ると考えるか、またはその酸化膜が極めて薄いことによるトンネル効果によって電流が流れ得ると考えることもできるが、現時点においてはその理由も必ずしも明らかではない。

【0023】光電変換層105上には、一導電型層104とは逆タイプの導電型半導体層106がプラズマCVD法によって堆積される。この逆導電型層106としては、たとえば導電型決定不純物原子であるボロンが0.01原子%以上ドーパされたp型の非晶質もしくは微結晶のシリコン層またはそれらの重複層あるいはリンが0.01原子%以上ドーパされたn型の非晶質もしくは微結晶のシリコン層またはそれらの重複層などが用いられ得る。しかし、逆導電型半導体層106についてのこれらの条件は限定的なものではなく、不純物原子としてはたとえばp型シリコンにおいてはアルミニウム等でもよく、またシリコンカーバイドやシリコンゲルマニウム等の合金材料の層を用いてもよい。なお、逆導電型半導体層106として非晶質シリコン系層が用いられる場合には、その厚さは1～50nmの範囲内にあることが好ましく、2～30nmの範囲内にあることがさらに好ましく、また、微結晶シリコン系層が用いられる場合には、その厚さは3～100nmの範囲内にあることが好ましく、5～50nmの範囲内にあることがさらに好ましい。

【0024】光電変換ユニット111上には、ITO、SnO₂、ZnO等から選択された少なくとも1以上の層からなる透明導電性酸化膜107と、さらにこの上にグリッド電極としてAl、Ag、Au、Cu、Pt等から選択された少なくとも1以上の金属またはこれらの合

金の層を含む楕形状の金属電極108とがスパッタ法または蒸着法により形成され、これによって図1に示されているような光電変換装置が完成する。なお、図1において光109は上方から入射されるように描かれているが、これは下方から入射されてもよいことはいうまでもなく、その場合には、金属電極108は楕形状である必要はなく、また、透明導電性酸化膜107を省略して逆導電型層106を覆うように形成されてもよい。

【0025】図3は、本発明の第2の実施の形態によるタンデム型シリコン系薄膜光電変換装置を模式的な斜視図で図解している。図3のタンデム型光電変換装置においては、図1の場合と同様に基板301上の複数の層302～306が、図1の基板101上の複数の層102～106にそれぞれ対応して同様に形成される。

【0026】しかし、図3のタンデム型光電変換装置においては、第1の光電変換ユニット311上に重ねて第2の光電変換ユニット312がさらに形成される。第2の光電変換ユニット312は、第1の光電変換ユニット311上にプラズマCVD法で順次積層された1導電型の微結晶または非晶質のシリコン系薄膜313、実質的にi型の非晶質シリコン系薄膜光電変換層314、および逆導電型の微結晶または非晶質のシリコン系薄膜315を含んでる。

【0027】第2の光電変換ユニット312上には、透明電極307および楕形状金属電極308が図1中の対応する要素107および108と同様に形成され、これによって図3のタンデム型光電変換装置が完成する。

【0028】また、本発明のさらに他の実施の形態による光電変換装置として、結晶質光電変換層を含む光電変換ユニットと非晶質光電変換層を含む光電変換ユニットとの少なくとも一方のユニットを複数含む多段のタンデム型光電変換装置も可能であることはいうまでもない。

【0029】

【実施例】以下において、本発明のいくつかの実施例によるシリコン系薄膜光電変換装置としてのシリコン系薄膜太陽電池が、比較例による太陽電池とともに説明される。

【0030】(比較例1)図2に示されているような多結晶シリコン薄膜太陽電池が、比較例1として作製された。まず、ガラス基板201上に、裏面電極210として、厚さ300nmのAg膜202とその上の厚さ100nmのZnO膜203のそれぞれがスパッタ法にて形成された。裏面電極210上には、厚さ30nmでリンドーパされたn型微結晶シリコン層204、厚さ3μmでノンドーパの多結晶シリコン光電変換層205、および厚さ15nmでボロンドーパされたp型微結晶シリコン層206がそれぞれプラズマCVD法により成膜され、nip光電変換ユニット211が形成された。光電変換ユニット211上には、前面電極207として、厚さ80nmの透明導電性ITO膜がスパッタ法にて堆積

され、その上に電流取出のための楕形状Ag電極208が蒸着法にて形成された。

【0031】n型微結晶シリコン層204は、RFプラズマCVD法により、以下に示す条件にて堆積された。すなわち、反応ガスの流量としてはシランが5sccm、水素が200sccm、そしてホスフィンが0.05sccmであり、反応室内圧力は1Torrに設定された。また、RFパワー密度は150mW/cm²であり、成膜温度は200℃であった。これと同一の成膜条件でガラス基板上に直接堆積した厚さ300nmのn型微結晶シリコン膜の暗導電率は、10S/cmであった。さらに、このn型微結晶シリコン層204上に形成される多結晶シリコン光電変換層205は、成膜温度200℃のもとでRFプラズマCVD法により堆積された。多結晶シリコン光電変換層205において、2次イオン質量分析法から求めた水素含有量は5原子%であり、X線回折における(220)回折ピークに対する(111)回折ピークの強度比は1/4であった。

【0032】この比較例1の太陽電池に入射光209としてAM1.5の光を100mW/cm²の光量で照射したときの出力特性においては、開放端電圧が0.461V、短絡電流密度が26.8mA/cm²、曲線因子が74.5%、そして変換効率が9.2%であった。

【0033】(実施例1)図1の第1の実施の形態に対応して、実施例1としての多結晶シリコン薄膜太陽電池が作製された。この実施例1の太陽電池は、n型微結晶シリコン層104と光電変換層105との間にシリコン酸化薄膜116を含んでいることのみにおいて、比較例1の太陽電池と異なっている。すなわち、実施例1による図1の太陽電池中のシリコン酸化薄膜116を除く他の要素101～108は、比較例1による図2の太陽電池中の要素201～208のそれぞれに対応した同じ方法と条件によって形成されたものである。

【0034】図1中のシリコン酸化薄膜116は、n型微結晶シリコン層104の表面を十分乾燥させた大気に1分間曝露させることによって形成された。このシリコン酸化薄膜の下地層116上に形成された多結晶シリコン光電変換層105において、2次イオン質量分析法から求めた水素含有量は比較例1とほぼ同じ5原子%であったが、X線回折における(220)回折ピークに対する(111)回折ピークの強度比は1/9に減少した。

【0035】このような実施例1の太陽電池に入射光109としてAM1.5の光を100mW/cm²の光量で照射したときの出力特性においては、開放端電圧が0.535V、短絡電流密度が27.1mA/cm²、曲線因子が73.0%、そして変換効率が10.4%であった。

【0036】(実施例2)実施例2として作製された太陽電池は、シリコン酸化薄膜116が二酸化炭素雰囲気下で40秒間のプラズマCVD反応によって形成された

ことのみに於いて実施例1と異なっている。この実施例2による多結晶シリコン光電変換層105において2次イオン質量分析法で求めた水素含有量は比較例1と同じ5原子%であったが、X線回折による(220)回折ピークに対する(111)回折ピークの強度比は1/9.5に減少した。

【0037】この実施例2の太陽電池に入射光109としてAM1.5の光を100mW/cm²の光量で照射したときの出力特性においては、開放端電圧が0.534V、短絡電流密度が26.9mA/cm²、曲線因子が73.3%、そして変換効率が10.5%であった。

【0038】(比較例2)図4に示されているようなタンデム型太陽電池が比較例2として作製された。この比較例2の太陽電池においては、要素401~406が比較例1の対応する要素201~206と同様に形成された。しかし、この比較例2においては、第1の光電変換ユニット411上に、さらに非晶質シリコン光電変換ユニット412が積層された。この第2の光電変換ユニット412は、それぞれが非晶質のn層413、i層414、およびp層415を含んでいる。非晶質光電変換層414の厚さは、0.4μmにされた。このような第2の光電変換セル412上に前面透明電極407および櫛形金属電極408を比較例1の対応する要素207および208と同様に形成することによって、図4に示されているような比較例2のタンデム型太陽電池が作製された。

【0039】このような比較例2による非晶質シリコン薄膜/多結晶シリコン薄膜型のタンデム型太陽電池に対して入射光409としてAM1.5の光を100mW/cm²の光量で照射したときの出力特性においては、開放端電圧が1.34V、短絡電流密度が13.3mA/cm²、曲線因子が73.3%、そして変換効率が13.0%であった。

【0040】(実施例3)図3の第2の実施の形態に対応して、実施例3としてタンデム型太陽電池が作製された。この実施例3のタンデム型太陽電池は、n型微結晶シリコン層304と光電変換層305との間に実施例1のシリコン酸化薄膜116と同様に形成された2.7nm厚さのをシリコン酸化薄膜316を含んでいることにおいて、比較例2の太陽電池と異なっている。すなわち、実施例3による図3の太陽電池中のシリコン酸化薄膜316を除く他の要素301~308は、比較例2による図4の太陽電池中の要素401~408のそれぞれに対応した同じ方法と条件によって形成されたものである。

【0041】この実施例3による非晶質シリコン薄膜/多結晶シリコン薄膜型のタンデム型太陽電池に対して入射光309としてAM1.5の光を100mW/cm²の光量で照射したときの出力特性としては、開放端電圧が1.41V、短絡電流密度が13.6mA/cm²、

曲線因子が74.1%、そして変換効率が14.2%であった。

【0042】(実施例4)実施例4として作製された太陽電池は、シリコン酸化薄膜316が実施例2のシリコン酸化薄膜116と同様に形成されたことのみに於いて実施例3と異なっている。

【0043】このような実施例4の太陽電池に入射光309としてAM1.5の光を100mW/cm²の光量で照射したときの出力特性においては、開放端電圧が1.40V、短絡電流密度が13.6mA/cm²、曲線因子が74.6%、そして変換効率が14.3%であった。

【0044】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、結晶質を含むシリコン系光電変換層を高品質化することができ、それによってシリコン系薄膜光電変換装置の高性能化に大きく貢献することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態による結晶質シリコン系薄膜光電変換装置を示す模式的な斜視図である。

【図2】先行技術による比較例1としての結晶質シリコン系薄膜光電変換装置を示す模式的な斜視図である。

【図3】本発明の第2の実施の形態による非晶質/結晶質型のタンデム型シリコン系薄膜光電変換装置を示す模式的な斜視図である。

【図4】先行技術による比較例2としての非晶質/結晶質型のタンデム型シリコン系薄膜光電変換装置を示す模式的な斜視図である。

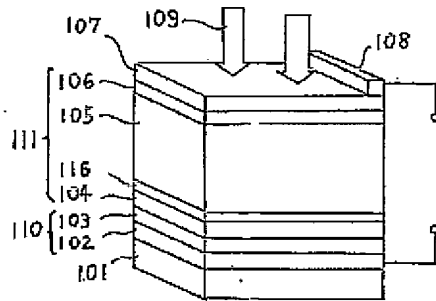
【符号の説明】

- 101、201、301、401：ガラス等の基板
- 102、202、302、402：Ag等の膜
- 103、203、303、403：ZnO、ITO等の膜
- 104、204、304、404：たとえばn型の1導電型微結晶シリコン層
- 105、205、305、405：結晶質シリコン光電変換層
- 106、206、306、406：たとえばp型の逆導電型微結晶シリコン層
- 107、207、307、407：ITO、SnO等の透明導電膜
- 108、208、308、408：Ag等の櫛形電極
- 109、209、309、409：照射光
- 110、210、310、410：電極
- 111、211、311、411：結晶質シリコン光電変換ユニット
- 312、412：非晶質シリコン光電変換ユニット
- 313、413：たとえばn型の第1導電型シリコン系層
- 314、414：i型の非晶質シリコン光電変換層

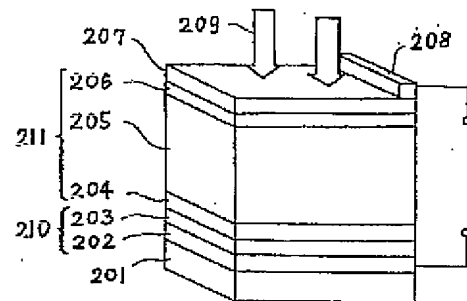
315、415：たとえばp型の逆導電型シリコン系層

116、316：シリコン酸化薄膜

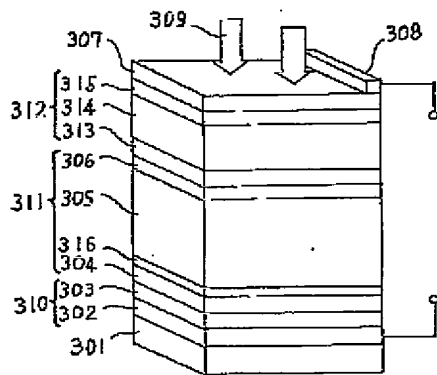
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

